SetE BULLETIN SCIENCE ET ENVIRONNEMENT SetE
Numéro 29 mars/avril 2002

LES MODÈLES NOUS INFORMENT SUR LE CLIMAT FUTUR

La Terre vue de l'espace. Photo : NASA

Au cours des cinquante dernières années, la prévision de l'avenir, jadis l'apanage des prophètes et des diseuses de bonne aventure, est devenue une question de science bien plus que de divination. Aujourd'hui, des superordinateurs capables d'effectuer des milliards d'opérations arithmétiques par seconde permettent de prédire le comportement de nombreux systèmes naturels en faisant appel à des modèles mathématiques des processus qui les gouvernent.

Ces modèles revêtent une importance particulière lorsqu'il s'agit d'étudier les répercussions des activités humaines sur l'environnement, parce qu'ils permettent aux scientifiques d'enficher les modifications de certaines variables et de déterminer ensuite les conséquences possibles. Au cours des quatre dernières décennies, les résultats fournis par des modèles sans cesse plus complexes de notre système de climat mondial nous ont sensibilisés à l'un des problèmes environnementaux les plus sérieux que le monde doit affronter aujourd'hui : l'effet de réchauffement dramatique, sur l'atmosphère terrestre, de l'accroissement du dioxyde de carbone, du méthane et d'autres « gaz à effet de serre » retenant la chaleur.

Appliquant divers scénarios portant sur les émissions futures de polluants atmosphériques, les modélisateurs en climatologie ont regardé cent ans dans l'avenir et ont entrevu un monde dans lequel la température globale pourrait être en moyenne de près de 4,5 °C plus élevée qu'elle ne l'était en 1985. On s'attend que le réchauffement sera encore plus considérable au Canada, et certaines régions de l'Arctique pourraient connaître des augmentations moyennes trois fois plus fortes. Ces températures plus chaudes pourraient avoir des conséquences dévastatrice—notamment une réduction radicale de la couverture des glaces de mer et de la neige, des modifications de notre cycle hydrologique et de notre alimentation en eau et une survie accrue des espèces nuisibles. Les écosystèmes et les animaux, tels que les ours polaires, incapables de s'adapter à leur nouvel environnement pourraient disparaître à jamais.

Combien exacte est cette image de l'avenir ? Pour déterminer le degré de précision des modèles climatiques il faut d'abord savoir comment ils fonctionnent. En termes plus simples, les modèles climatiques sont d'énormes logiciels qui simulent le fonctionnement de notre système climatique mondial en trois dimensions spatiales et dans le temps. Les modèles climatiques sont fondés sur les lois de la physique qui régissent la façon dont interagissent la matière et l'énergie. Interposées dans ce cadre, des équations décrivent les différents processus en œuvre au sein du système climatique et la manière dont ils réagissent aux changements internes et externes.

Alors que les premiers modèles climatiques ne représentaient que les processus atmosphériques, les modèles « couplés » d'aujourd'hui reconnaissent que notre système climatique implique une myriade d'interactions complexes reliant l'atmosphère, les océans, les terres émergées et les masses glaciaires polaires. Les scientifiques simulent ce système en reliant les modèles individuels de chacune de ces composantes aux divers processus par lesquels elles échangent l'énergie et la masse.

Les modèles climatiques divisent l'atmosphère, la terre et les océans en une grille tridimensionnelle constituée de milliers de cellules interactives. Lorsque les conditions existant dans une cellule se modifient, elles exercent en même temps une influence sur leurs voisines. Les versions simulées par ordinateur de notre climat ont manifesté une variabilité étonnamment réaliste sur des échelles de temps allant de quelques heures à plusieurs siècles. Si l'on pouvait pénétrer dans l'un de ces modèles, on y vivrait des conditions météorologiques et des changements

Suite à la page 2

À L'INTÉRIEUR

Les algues toxiques menacent la qualité de l'eau

La haie : habitat faunique à la ferme

Gardons l'oeil sur nos glaces !

Nouvelles technologies pour des diesels moins polluants

Suite de la page 1

de climat d'année en année semblables à ceux du monde réel.

Environnement Canada, qui s'intéresse à la modélisation climatique depuis les années 1970, mène ses travaux dans le domaine depuis son Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique (CCmaC) établi à Victoria en Colombie-Britannique. Le CCmaC s'inscrit dans la douzaine de centres qui, un peu partout dans le monde, mettent actuellement au point des modèles climatiques couplés et est l'un des quatre seuls centres dont les modèles ont été utilisés par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat pour évaluer les éléments probants des effets anthropiques sur le climat.

Environnement Canada a créé son premier modèle couplé au milieu des années 1990 et effectue actuellement des essais sur une version de troisième génération. Ces modèles fonctionnent à l'aide d'un énorme superordinateur situé au centre météorologique du Ministère à Dorval, Québec. L'incroyable capacité du système de réaliser 128 milliards d'opérations arithmétiques à la seconde permet au modèle climatique de simuler trois années de conditions météorologiques en une seule journée.

Le modèle climatique mondial du Canada compte deux composantes principales : un modèle de circulation générale atmosphérique et un modèle de circulation océanique. La composante atmosphérique divise l'atmosphère en une grille tridimensionnelle comptant 10 couches verticales qui s'étendent sur un total de 30 kilomètres au-dessus de la surface de la Terre. Chaque cellule de la grille possède une résolution horizontale, ou « largeur », d'environ 300 kilomètres. La composante atmosphérique simule les conditions météorologiques quotidiennes, c'est-à-dire le mouvement, la température, la pression et la densité de l'air, les nuages, le transfert de l'énergie rayonnante à travers l'atmosphère et le cycle hydrologique.

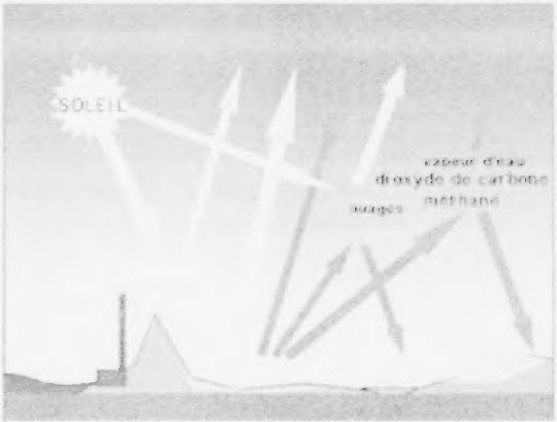


Illustration montrant la façon dont les influences anthropiques (d'origine humaine), notamment les émissions de gaz à effet de serre tels que le dioxyde de carbone et le méthane, influent sur le climat en emprisonnant la chaleur dans l'atmosphère.

La composante océanique, qui simule la circulation océanique et les propriétés de l'eau, possède 29 couches verticales et une résolution horizontale de 150 kilomètres. Elle reproduit les caractéristiques à grande échelle de la circulation océanique, ainsi que d'importantes propriétés de l'eau telles que la température, la densité et la salinité. Le modèle possède aussi une composante glace de mer, qui permet à la glace de se former et de fondre en échangeant de la chaleur avec l'océan et l'atmosphère et de se déplacer naturellement sous l'effet des courants et des vents. Enfin, il existe une composante surface terrestre, qui calcule les variations de l'humidité du sol et de la température de surface, l'évaporation et la réflectivité.

Le couplage de ces composantes n'est pas une tâche facile. Les modèles atmosphérique et océanique doivent d'abord être « accélérés » jusqu'à un état représentant le climat actuel—un processus qui ne prend que quelques décennies de temps simulé pour la composante atmosphérique, mais plusieurs milliers d'années de temps simulé pour la composante océanique, qui évolue beaucoup plus lentement. Une fois les composantes couplées, il

LE CLIMAT DE DEMAIN

Que prédit le Modèle couplé de circulation générale canadien (MCCG1) pour l'avenir ?

- *Les températures mondiales moyennes de surface auront augmenté d'environ 1,7 °C par rapport aux niveaux de 1985 en 2050 et de près de 4,5 °C en 2100. Les augmentations au-dessus de la terre seront plus fortes que celles au-dessus des océans : les premières seront de 6 °C et les secondes de 3,5 °C en 2100.*

- *Au Canada, les extrêmes de froid deviennent moins rigoureux et moins fréquents avec le temps, tandis que les températures maximales extrêmes deviennent plus élevées et plus fréquentes.*

- *Les précipitations moyennes globales auront augmenté d'environ un pour cent en 2050 et de 4,5 p. 100 en 2100. En 2090, les précipitations sur la plus grande partie du Canada auront augmenté de 10 à 20 p. 100 et la fréquence des précipitations destructrices pourrait avoir doublé.*

- *De concert avec des températures plus chaudes, l'Amérique du Nord connaît une diminution notable de l'humidité du sol disponible.*

- *Des changements majeurs surviennent dans la couverture de glace de mer dans l'hémisphère nord, la couverture annuelle moyenne décroissant d'environ 40 p. 100 d'ici à 2050 et ayant virtuellement disparu en 2100.*

- *Le niveau moyen global de la mer augmentera d'environ 40 centimètres d'ici les deux dernières décennies du 21e siècle, essentiellement sous l'effet de la dilatation thermique des océans.*

Suite à la page 3

Suite de la page 2

Schéma comparant certaines des différences entre la structure du deuxième modèle couplé de circulation générale canadien (à gauche) et celle de la version de troisième génération du modèle (à droite).

est difficile d'éviter les inexactitudes dans le flux modélisé de chaleur et d'humidité entre l'océan et l'atmosphère et celles-ci provoqueraient tôt ou tard une dérive du climat simulé si elles n'étaient pas corrigées par un « ajustement de flux ». Cet ajustement est devenu plus faible avec chaque génération du modèle climatique.

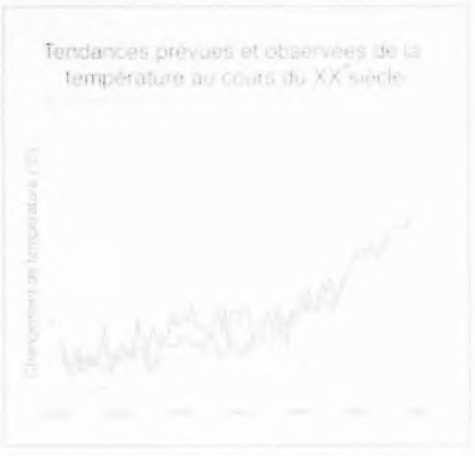
Un test important du modèle climatique repose sur sa capacité de reproduire les modifications de la température mondiale moyenne observées au cours des 150 dernières années lorsqu'on lui adjoint les changements connus des concentrations de gaz à effet de serre et d'aérosols. Même si les modèles courants passent ce test, les scientifiques soulignent qu'il y a de la place pour des améliorations. Par exemple, les influences de nombreuses caractéristiques de surface, telles que les montagnes et la végétation, ne peuvent qu'être estimées, parce que la résolution du modèle ne lui permet pas de « voir » des caractéristiques de moins de 300 kilomètres de large.

Deux autres aspects du modèle qui nécessitent des améliorations sont ceux qui ont trait aux nuages et aux aérosols. Les nuages, qui sont capables de réfléchir aussi bien que d'emprisonner les rayons solaires, sont difficiles à représenter, non seulement parce que leurs caractéristiques physiques fondamentales sont mal connues, mais aussi parce qu'ils se produisent sur une petite échelle et qu'ils sont hautement chaotiques. Pour leur part, les aérosols sont de minuscules particules atmosphériques qui proviennent de la combustion des combustibles fossiles. Bien qu'ils exercent un effet de refroidissement direct sur le climat en réfléchissant l'énergie solaire vers l'espace, ils ont aussi un effet indirect incertain résultant de leurs répercussions sur la réflectivité et la longévité des nuages.

Conscient de la nécessité de combler ces lacunes et d'autres carences, Environnement Canada travaille activement à la mise au point de nouveaux modèles avec des collaborateurs appartenant à diverses universités canadiennes. Un modèle couplé de troisième génération fonctionne présentement en mode essai. Sa composante atmosphérique possède de nombreux processus physiques améliorés et 32 couches verticales s'étendant à 50 kilomètres au-dessus de la Terre. Il compte également un modèle de surface terrestre multicouche qui inclut un couvert végétal, des rivières vives qui transportent les décharges à l'océan et une représentation des processus concernant les calottes glaciaires en œuvre au Groenland et dans l'Antarctique. Tandis que les essais se poursuivent sur le modèle de troisième génération, des travaux additionnels sont en cours pour y incorporer le cycle du carbone—le transfert continu en va-et-vient du carbone entre l'atmosphère et les organismes vivants.

Entre-temps, des chercheurs de l'Université du Québec à Montréal procèdent au perfectionnement d'un modèle climatique régional qui est imbriqué dans le modèle global d'Environnement Canada et fonctionne sur une échelle horizontale plus petite de 45 kilomètres. Ce modèle régional utilise les données du modèle à plus grande échelle d'une manière analogue à celle dont les prévisions météorologiques régionales utilisent les données issues des prévisions globales. Déjà mis à l'essai lors d'une série de simulations du climat présent et futur de l'ouest du Canada, le modèle sera bientôt mis à profit pour créer la première évaluation à haute résolution effectuée à l'aide d'un modèle dynamique de la façon dont le changement climatique mondial touchera les diverses régions du Canada.

Même s'il y aura toujours de la place pour des améliorations, les modèles d'aujourd'hui nous fournissent des prévisions remarquablement réalistes de l'état futur de notre environnement. De telles prévisions ne sont pas seulement utiles en vue de la formulation et de l'application de politiques visant à réduire les activités humaines nuisibles à l'environnement, mais elles rendent également possible la mise sur pied de stratégies qui nous permettront de nous adapter aux effets de la sécheresse, des inondations et des autres dangers liés aux changements climatiques. **SoE**



Tendances et variations des températures mondiales moyennes de surface, simulées par le Modèle couplé de circulation générale canadien 1. La ligne mince du bas représente la passe de contrôle du modèle et la ligne la plus épaisse, les passes des gaz à effet de serre et des aérosols du modèle, tandis que l'autre ligne (qui se termine en l'an 2000), montre les tendances climatiques observées.

LES ALGUES TOXIQUES MENACENT LA QUALITÉ DE L'EAU

« Baignade dangereuse pour les personnes et les animaux » « Poisson impropre à la consommation ». Ces messages, placardés un peu partout l'été dernier dans le port de Hamilton, dans le sud de l'Ontario, étaient un avertissement inquiétant d'une menace croissante à la qualité de l'eau au Canada et dans le monde entier : les algues toxiques.

Les scientifiques de l'Institut national de recherche sur les eaux d'Environnement Canada ont pris conscience de ce problème après avoir relevé des niveaux élevés de la toxine microcystine dans des échantillons d'algues prélevés dans le port. En même temps, on soupçonnait un début de botulisme aviaire—une forme mortelle d'intoxication alimentaire touchant les oiseaux et causée par la bactérie *Clostridium botulinum*.

La situation semblait paradoxale : le port de Hamilton se remettait lentement, avec les années, des effets d'une désastreuse pollution causée par les industries et d'autres agents; et pourtant, alors même que les niveaux de substances nutritives et de sédiments toxiques décroissaient et que la composition chimique de l'eau s'améliorait, une nouvelle menace environnementale surgissait.

En 1996, des chercheurs du Ministère s'associèrent à Canards illimités Canada pour faire enquête sur une épidémie de botulisme aviaire qui avait tué plus de 200 000 canards au lac Whitewater, au Manitoba. À cette époque, on avait décelé la présence de toxines algaires dans le lac, mais on n'avait pas été en mesure d'établir le lien précis entre les toxines et la maladie. Les chercheurs supposaient que de petits animaux tués par les toxines avaient servi de milieu de reproduction aux bactéries, qui s'étaient ensuite propagées aux oiseaux, mais des recherches additionnelles seront nécessaires pour vérifier cette hypothèse. Ils avaient, toutefois, été à même de déterminer pourquoi certains secteurs du lac étaient plus toxiques que d'autres : les substances nutritives libérées par les sédiments du lac étaient transportées par le vent et déposées dans ces endroits, où elles créaient des points chauds propices à la production d'algues toxiques.

Ces mêmes chercheurs concentrent maintenant leur attention sur la région des Grands Lacs, où des algues toxiques prolifèrent de plus en plus fréquemment. De 1999 à 2001, un nombre exceptionnel de goélands, de huards et de harles ont péri dans le lac Érié, en dépit du fait que les algues toxiques du lac accusent des concentrations de microcystine inférieures à celles du port de Hamilton.

Les scientifiques soupçonnent que des espèces exotiques, telles que la moule zébrée et le gobie, jouent un rôle dans l'accroissement de la biodisponibilité de ces toxines. Les moules zébrées possèdent une biomasse substantielle, si bien que lorsqu'elles consomment sélectivement des algues non toxiques, elles font augmenter indirectement la présence des algues toxiques. La nourriture rejetée s'accumule autour de leurs colonies et est occasionnellement remise en suspension dans la colonne d'eau. Lorsque les gobies consomment les moules, ils effectuent une bioaccumulation de toutes les toxines que les moules peuvent avoir ingérées, les transmettant ainsi par la chaîne alimentaire.

Environnement Canada œuvre en collaboration avec la State University of New York pour élucider ce problème complexe. À l'aide d'expériences sur le terrain et en laboratoire et de modèles informatisés, les scientifiques espèrent mieux comprendre les conditions environnementales qui déclenchent la floraison des fleurs d'eau et l'interaction de celles-ci avec l'écosystème environnant—particulièrement le réseau trophique. Ils cherchent à savoir de quelle façon un climat plus chaud et une plus grande pénétration des rayons ultraviolets touchent le lac Érié et à connaître leur effet sur la croissance des algues toxiques. De plus, ils se proposent de vérifier l'efficacité des traitements visant à courber la floraison des algues, par exemple l'application d'argile et de fer : l'argile enrichie de fer est épandue depuis un bateau pour précipiter les algues et les bloquer dans les sédiments.

Ce problème n'est pas particulier à l'Amérique du Nord. Non seulement les scientifiques observent-ils un accroissement des algues toxiques dans d'autres parties du monde, mais ils découvrent dans des régions nordiques des espèces d'algues que l'on ne trouvait jadis que dans les lacs tropicaux. Au Japon, l'algue toxique *Heterocapsa* a presque anéanti l'industrie huitrière.

Environnement Canada collabore aux efforts internationaux de recherche entrepris pour affronter ce problème. Par exemple, le Ministère œuvre avec des scientifiques japonais pour déterminer la manière dont la charge du soufre a pu contribuer à l'apparition récente d'algues bleu-vert dans le lac Biwa, le plus grand lac d'eau douce du Japon.

De nombreux facteurs—depuis les rejets locaux de substances nutritives jusqu'à la pollution atmosphérique globale et les changements climatiques—peuvent entrer en jeu dans cette menace naissante à la qualité de l'eau dans le monde. Les chercheurs commencent maintenant à se faire une idée de l'ampleur du problème et à mettre sur pied des stratégies susceptibles de le résoudre. SoE

LA HAIE : HABITAT FAUNIQUE À LA FERME

L'intensification de l'agriculture au cours des 50 dernières années a encouragé la création d'exploitations agricoles plus vastes et plus productives dans de nombreuses régions de l'Amérique du Nord. Pour maximiser l'utilisation des terres cultivables, les haies, les boisés de ferme et les bandes riveraines de ces régions deviennent progressivement plus petits, plus étroits et plus isolés.

Les pressions qui s'exercent sur ces secteurs non cultivés se trouvent encore accrues par le fait que de nombreux agriculteurs les considèrent comme abritant des espèces de plantes et d'animaux nuisibles pour les cultures voisines. Il s'ensuit que la végétation y est souvent éliminée ou contenue par des procédés mécaniques ou chimiques—ce qui rend ces habitats moins utiles pour la faune et plus vulnérables à l'invasion des mauvaises herbes et des espèces végétales non indigènes.

Dans les paysages ruraux hautement fragmentés, les lisières non cultivées servent non seulement d'aires de reproduction et d'alimentation vitales pour de nombreuses espèces, mais elles constituent aussi des corridors verts reliant des îlots isolés d'habitat naturel. Les bandes riveraines préviennent pour leur part l'érosion des rives et aident à préserver la qualité de l'eau, tandis que les haies réduisent l'érosion et la pollution éoliennes.

Les biologistes d'Environnement Canada en collaboration avec des scientifiques de la Société de la faune et des parcs du Québec ont évalué l'importance de ces habitats en décroissance pour la biodiversité de l'écorégion de la plaine du Saint-Laurent, dans le sud du Québec. L'inventaire des espèces végétales et animales d'habitats riverains du bassin hydrographique de la rivière Boyer et de haies brise-vent de la région de Saint-Hyacinthe a donné d'intéressants résultats.

Les études concernant la rivière Boyer ont porté sur divers types de bandes riveraines, allant de celles où paît le bétail à celles qui contiennent un mélange d'arbres, d'arbustes et d'autre végétation. Dans l'ensemble, on a pu établir que les habitats possédant des structures végétales plus complexes contenaient une plus grande diversité d'espèces, mais un nombre moindre d'espèces nuisibles. La raison en est probablement que plus la structure végétale de l'habitat est complexe, mieux elle est en mesure de fournir des sites de nidification, un abri contre les prédateurs et de la nourriture sous forme de fruits, de graines, de feuillage et d'invertébrés.

Par exemple, on a établi que les bandes riveraines boisées contenaient plus d'espèces végétales mais moins de mauvaises herbes que les autres habitats riverains. Elles possédaient aussi la plus grande diversité et la plus grande abondance d'oiseaux, notamment des espèces insectivores telles que la Mésange à tête noire, plusieurs espèces de moucherolles, parulines, pics et viréos, qui sont des agents importants de contrôle biologique des espèces d'insectes nuisibles pour les champs avoisinants. L'abondance des Carouges à épaulettes—une espèce susceptible de causer des dommages aux cultures—était plus élevée dans les bandes boisées, mais était néanmoins faible dans les cultures adjacentes.

D'autres études ont montré que la diversité et l'abondance des petits mammifères augmentaient aussi en fonction de la complexité végétale, tandis que l'abondance des espèces de rongeurs nuisibles diminuait. En ce qui concerne les amphibiens et les reptiles, leur nombre et l'abondance des espèces étaient les plus élevés dans les bandes arbustives—ce qui illustre l'importance de protéger une diversité de types d'habitat au sein des bassins hydrographiques. Ce qui revêt un intérêt particulier pour les agriculteurs, toutefois, c'est le fait que l'on a relevé près de deux fois et demie plus de mammifères et de reptiles insectivores dans les bandes riveraines boisées que dans les bandes herbacées—ce qui, ici encore, illustre la valeur de ces habitats pour le contrôle des insectes nuisibles.

Ces conclusions ont trouvé leur écho dans l'étude de la diversité des plantes et des oiseaux dans des haies brise-vent bordant les champs cultivés dans la région de Saint-Hyacinthe. On a répertorié trois types de haies : les haies naturelles contenant un mélange d'arbres et d'arbustes; les haies plantées, constituées essentiellement de conifères; et les haies herbacées sans arbre (le type le plus abondant).

Bande riveraine dans une région rurale du Québec.

La diversité des plantes était la plus élevée dans les haies naturelles, qui contenaient aussi plus d'espèces d'intérêt (telles que les plantes vivaces indigènes) que les autres. On a trouvé un plus grand nombre d'espèces introduites et de mauvaises herbes dans les haies plantées et dans les haies herbacées que dans les haies naturelles, ces plantes croissant plus facilement dans les habitats perturbés. En fait, les mauvaises herbes comptaient pour la moitié environ des espèces croissant dans les haies plantées.

Étayant la théorie voulant qu'une grande diversité végétale assure la subsistance d'une grande diversité d'insectes, les oiseaux utilisaient les haies naturelles et les haies plantées plus que les haies herbacées—et la plupart des espèces étaient des insectivores qui utilisaient ces habitats comme sites de nidification et d'alimentation. Comme dans les bandes riveraines, les haies possédant une structure végétale complexe et diversifiée abritaient une plus grande diversité d'espèces d'oiseaux. On a observé très peu d'espèces d'oiseaux considérés comme nuisibles aux cultures dans les haies et les cultures adjacentes.

Le développement durable revêt une importance primordiale pour l'avenir de l'environnement du Canada comme de son agriculture. Les présentes études offrent une forte indication que la conservation des haies naturelles et des bandes riveraines—particulièrement celles qui présentent une structure végétale complexe—constitue une stratégie efficace susceptible de profiter aux agriculteurs comme à la faune. Sol

GARDONS L'ŒIL SUR NOS GLACES !

L'état des glaces sur les routes maritimes canadiennes peut être inconstant et dangereux. En quelques heures à peine, une saute de vent ou une fluctuation de la marée peuvent fermer subitement une voie libre et bloquer des navires entre d'énormes banquises capables de briser leur coque. Au début de l'été, les eaux du large de la côte du Labrador se transforment en un immense champ d'icebergs géants qui menacent les navires et les plates-formes pétrolières.

Environnement Canada aide les équipages à trouver une route sûre à travers les eaux canadiennes gelées grâce aux travaux de son Service canadien des glaces. Celui-ci combine les données recueillies à partir des images satellites, du radar aéroporté et des observations visuelles aux informations météorologiques et océaniques pour mettre au point des cartes et des prévisions de l'état des glaces et des icebergs à l'intention de la Garde côtière canadienne, des industries du transport maritime et de la pêche, des entreprises d'exploration pétrolière et gazière et des chercheurs environnementaux.

Depuis sa création, dans les années 1960, la composition du Service canadien des glaces, basé à Ottawa, est passée d'une demi-douzaine d'employés à plus de 80—dont le tiers passent neuf mois par année sur le terrain. Ces spécialistes des glaces effectuent des périodes de service de six semaines à bord de brise-glace de la Garde côtière, avertissant leurs commandants de l'état des glaces locales qui pourraient mettre leurs navires en danger. En plus de recevoir des images satellites et d'autres données à grande échelle par Internet, ils mesurent la concentration, l'épaisseur et le type de la glace à partir d'observations effectuées par bateau et par hélicoptère, ainsi qu'en se livrant à des missions de reconnaissance à bord d'avions équipés de systèmes de cartographie radar.

D'une façon générale, plus la glace s'épaissit, plus sa couleur pâlit, si bien que la nouvelle glace (de moins de 10 cm d'épaisseur) a un aspect sombre, tandis que la glace de première année (30 cm et plus) paraît blanche. Les modèles thermodynamiques basés sur la température de l'air aident à évaluer les épaisseurs plus grandes lorsque la glace est souvent couverte de neige. La glace évolue aussi en vieillissant. Au début, elle contient des bulles d'air, du sel et d'autres impuretés qui la rendent moins dense. Si elle survit à la fonte de l'été, toutefois, ces impuretés s'évacuent et les bulles d'air se remplissent d'eau qui regèle, donnant à la glace âgée de plusieurs années une couleur bleu clair et la rendant dure comme de l'acier.

Le M.V. Arctic embarquant une cargaison à la mine Polaris de la Petite île Cornwallis, dans l'Arctique.

Photo : Graham Campbell

Connaître la concentration, l'épaisseur et l'âge de la glace est capital en ce qui a trait aux navires, en raison des différences de résistance de leurs coques et de leur puissance. La plupart des cargos étrangers qui empruntent les eaux du Saint-Laurent commencent à éprouver des difficultés dans 15 cm de glace, alors que les navires plus gros, possédant plus de puissance et des coques plus résistantes, peuvent naviguer dans des glaces beaucoup plus épaisses. Avec ses 20 000 chevaux-vapeur, le *Louis St. Laurent*, le plus gros brise-glace du Canada, peut se frayer un chemin à travers des glaces de deux mètres d'épaisseur, tandis que les brise-glace nucléaires russes d'une puissance de 75 000 chevaux-vapeur parcourent impunément l'océan Arctique.

Pour grouper toutes ces données dans un format utilisable, les analystes et prévisionnistes des glaces, à Ottawa, produisent des cartes à grande échelle (1:2 000 000) connues sous le nom de cartes des glaces. Ces cartes montrent l'emplacement et l'ampleur de la couverture glaciaire dans un secteur dont la superficie équivaut plus ou moins à celle du golfe du Saint-Laurent à une date et à un moment donnés et décrivent les diverses qualités de la glace en termes numériques à l'intérieur d'une « clé » de forme ovale appelée « code de l'œuf ». Plusieurs cartes sont produites chaque jour, afin de couvrir tous les secteurs fréquentés par les navires dans le voisinage de la glace.

Les données obtenues par satellite et par radar et issues des observations étant recueillies à des moments différents, un modèle couplé perfectionné glace-océan aide les prévisionnistes à les intégrer pour créer un instantané de l'état des glaces à 13 h, heure normale de l'Est, tous les jours. Le modèle, qui simule le mouvement et le développement des glaces, permet de prévoir l'état des glaces sur une période allant jusqu'à 48 heures environ et s'appuie largement sur les prévisions météorologiques numériques émises par le Centre météorologique canadien de Dorval, au Québec. Il avise également les prévisionnistes des modifications subies par les glaces—la façon dont elles fondent, se brisent ou gèlent—et leur indique si la pression au sein de la glace augmente ou diminue.

Suite à la page 7

Suite de la page 6

Un bulletin résumant la carte journalière est diffusé par radio maritime, pour fournir des données sur des facteurs significatifs concernant les glaces, en même temps que des prévisions à court terme sur toute situation dangereuse. Des cartes à plus grande échelle (1:4 000 000) sont également produites en tant qu'aperçus hebdomadaires et mensuels de l'état des glaces en vue de la planification à plus long terme et à des fins climatologiques. Les prévisions saisonnières et mensuelles sont créées à partir des enregistrements antérieurs et des conditions courantes, afin de donner aux utilisateurs une idée des perspectives à plus long terme concernant la navigation. Une collection de plus d'un demi million de cartes, d'images radar et satellites et d'autres données est conservée aux Archives canadiennes des données sur les glaces, en vue des études sur l'impact climatique et environnemental, à des fins juridiques et pour la planification du réapprovisionnement des collectivités du Nord, du tourisme, de la pêche et d'autres activités.

Spécialistes du Service canadien des glaces utilisant une tarière à essence pour mesurer l'épaisseur de la glace de mer.

Deux saisons principales font que les experts des glaces d'Environnement Canada demeurent occupés durant la presque totalité de l'année. La saison de navigation d'hiver dans les Grands Lacs, le golfe du Saint-Laurent, le Saint-Laurent lui-même et au large de la côte est de Terre-Neuve s'étend entre la mi-décembre et la mi-mai. Abritant trois des cinq plus grands ports du Canada —dont Montréal et Sept-Îles—le Saint-Laurent est maintenu ouvert toute l'année et quelque 1 500 navires l'empruntent chaque hiver. Bien que l'activité soit moindre sur les Grands Lacs en raison de la fermeture des écluses de Sault-Ste-Marie et de Welland à partir de la fin de décembre, une navigation assez importante ne s'en fait pas moins sur les lacs Huron, Érié et Michigan.

Les eaux de l'Arctique sont gelées durant l'hiver, mais ouvertes l'été, permettant le passage des navires de la mi-mai environ jusqu'au début de novembre. En raison de la diminution des glaces ces dernières années, de l'amélioration des technologies et des stimulants économiques, les navires se rendent dans l'Arctique plus tôt et y demeurent plus longtemps chaque année—ce qui rend des prévisions exactes et à jour de l'état des glaces plus importantes que jamais.

Durant la saison de navigation d'été dans l'Arctique, les navires se rendent dans les collectivités du Nord pour les réapprovisionner en vue de l'année à venir, ainsi que pour exporter les concentrés provenant de mines demeurées en activité tout l'hiver. Le port de Churchill, au Manitoba, dans la baie d'Hudson, accueille durant l'été une trentaine de navires qui prennent livraison de grain des Prairies destiné à l'Amérique du Sud. Ces dernières années, on a également constaté un essor de l'écotourisme, et une demi-douzaine de paquebots de croisière explorent régulièrement les eaux de l'Arctique.

La surveillance des icebergs constitue une portion mineure mais intégrante des responsabilités d'Environnement Canada concernant les glaces. Chaque année, jusqu'à 3 000 icebergs—la plupart issus des glaciers du Groenland—dérivent vers le sud, le long de la côte du Labrador et des Grands bancs de Terre-Neuve. Bien qu'ils fondent rapidement en atteignant le Gulf Stream, ils traversent les routes maritimes transatlantiques aux Grands bancs noyés dans le brouillard, constituant un danger de collision pour les navires autant que pour les plates-formes pétrolières.

Gros plan d'une carte des glaces montrant les « codes de l'œuf » utilisés pour fournir des données sur l'épaisseur, le type et la répartition des glaces dans les eaux gelées.

Bien que la plate-forme pétrolifère Hibernia ait été construite pour résister à l'impact d'un iceberg d'un million de tonnes, ses opérateurs n'en utilisent pas moins des remorqueurs pour remorquer ou faire dévier tout iceberg arrivant dans les parages. D'autres installations de forage pétrolier ne sont que des navires stationnaires qui ne sont pas conçus pour résister à une collision, si bien qu'il leur faut un préavis d'au moins 12 heures pour pouvoir faire dévier des icebergs potentiellement dangereux, ou pour se désamarrer et se mettre hors de danger.

Chaque jour, Environnement Canada fournit à ces clients et à d'autres des prévisions et des cartes des glaces qui précisent la concentration d'icebergs décelés dans les « limites de toute glace connue » établies par la Patrouille internationale des glaces. Ces cartes sont créées en combinant les données radar et visuelles avec des modèles qui simulent le mouvement erratique et rapide des icebergs et leur désintégration avec le temps.

De la mi-novembre à la mi-décembre, lorsque les routes maritimes du sud sont dégagées et que l'Arctique est gelé, le Ministère continue de surveiller l'état des glaces dans les deux secteurs à des fins rétrospectives. Des dossiers remontant aux années 1940 ont aidé non seulement à nous sensibiliser aux changements qu'a connus notre climat ces dernières années, mais aussi à accroître notre compréhension du rôle important que joue la glace marine dans notre climat mondial. SoE

NOUVELLES TECHNOLOGIES POUR DES DIESELS MOINS POLLUANTS

Appareil d'échantillonnage des émissions monté sur un camion pour déterminer l'efficacité de diverses technologies de réduction des émissions des moteurs diesels.

Le moteur diesel constitue depuis longtemps la technologie de choix pour les véhicules consommant beaucoup de carburant, tels que les autobus, les camions et le gros équipement de construction. Bien que le diesel soit plus efficace et dure plus longtemps que le moteur à essence, le revers de la médaille est qu'il engendre plus de smog urbain et de particules.

D'une façon générale, un véhicule mu par un moteur diesel émet entre une fois et demi et deux fois la quantité des oxydes d'azote produite par un véhicule à essence comparable. Lorsque les oxydes d'azote et les composés organiques volatils réagissent à la lumière solaire dans une atmosphère stagnante, ils forment de l'ozone troposphérique—la principale composante du smog. Le diesel est aussi l'un des principaux agents contribuant à la formation des particules urbaines, qui peuvent transporter des substances carcinogènes et provoquer des problèmes respiratoires.

Les ministres fédéraux de la Santé et de l'Environnement ont déclaré les particules d'un diamètre inférieur à 10 microns (P_{10}) toxiques pour les êtres humains et pour l'environnement en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement*. Ces minuscules particules constituent un risque pour la santé parce qu'elles peuvent être inhalées profondément dans les poumons.

Dans le cadre de son programme d'assainissement de l'air, le gouvernement fédéral a proposé la mise en œuvre d'une réglementation visant à rendre obligatoire le carburant diesel à faible teneur en soufre pour les véhicules routiers d'ici au milieu de 2006 et doit très bientôt proposer l'adoption de nouveaux règlements très stricts sur les émissions pour les véhicules routiers et les moteurs diesels. Ensemble, le carburant à faible teneur en soufre et les règlements sur les émissions réduiront les émissions de particules des véhicules diesels neufs de 90 p. 100 par rapport à la réglementation actuelle.

Environnement Canada travaille également en étroite collaboration avec les manufacturiers, les exploitants de parcs de véhicules et d'autres intervenants dans toute l'Amérique du Nord pour mettre au point et vérifier des technologies après fabrication en utilisant des dynamomètres pour chassis et d'autres dispositifs perfectionnés d'échantillonnage et d'analyse dans son Centre de technologie environnementale, à Ottawa.

Les récents travaux de développement technologique comprenaient une collaboration avec des consortiums de l'Ontario, du Québec et de l'État de New York pour examiner les émissions des autobus hybrides diesel-électricité. On a constaté que ces véhicules hybrides produisaient moins d'émissions de tous types parce qu'ils sont équipés de systèmes perfectionnés qui leur permettent de récupérer l'énergie perdue et de fonctionner dans le mode le plus économique et le moins polluant. Le Ministère a également participé à des essais de contrôle des émissions sur des autobus de la ville de New York utilisant un carburant à teneur ultra faible en soufre et munis d'un filtre à particules. Durant les huit premiers mois d'opération, ces autobus ont accusé une réduction de plus de 90 p. 100 des émissions de particules, de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures.

L'équipement de construction contribuant de façon significative aux émissions globales des oxydes d'azote, de nombreux tests ont aussi été effectués sur la machinerie lourde hors route, notamment les bulldozers, les camions à bascule et les rétrocaveuses. Des essais effectués en Nouvelle-Angleterre sur de l'équipement modifié à l'aide de diverses technologies de contrôle des émissions de gaz d'échappement ont montré que celles-ci pouvaient réduire de façon substantielle les émissions.

On a constaté par exemple que les catalyseurs d'oxydation des moteurs diesels—qui utilisent la température d'échappement pour convertir le monoxyde de carbone et les hydrocarbures en dioxyde de carbone et en eau et pour oxyder la fraction organique des particules—réduisaient les particules de 23 p. 100 en moyenne. D'autres moteurs équipés de filtres à particules catalysés ont accusé des réductions allant jusqu'à 97 p. 100 pour les particules et 66 p. 100 pour le monoxyde de carbone et les hydrocarbures.

Des tests d'émission effectués à Houston, Texas, sur de l'équipement de construction ont confirmé que les véhicules utilisant un nouveau mélange composé de carburant diesel, d'eau purifiée et d'un additif réalisaient des réductions d'oxyde d'azote allant jusqu'à 41 p. 100 et des réductions de particules pouvant atteindre 69 p. 100—sans nécessiter aucune modification de leur moteur. Les filtres à particules et les systèmes catalyseurs ont également donné de bons résultats lorsqu'on en munissait des véhicules en service, réduisant les émissions d'oxyde d'azote jusqu'à 81 p. 100, les particules totales jusqu'à 83 p. 100 et les émissions de monoxyde de carbone jusqu'à 95 p. 100.

Les résultats de ces tests et d'autres essais apportent une preuve tangible que beaucoup de technologies après fabrication peuvent être appliquées aux moteurs diesels en service pour réduire de façon significative leur production d'émissions nocives. Si de telles technologies étaient appliquées à une proportion même faible des véhicules diesels en service au Canada et aux États-Unis aujourd'hui, elles aideraient à réduire les risques de problèmes de santé liés au smog. S•tE

Bulletin S et E

Ce bulletin présente tous les deux mois de l'information sur les travaux de pointe d'Environnement Canada, en sciences et en technologie.

Pour obtenir plus de renseignements sur un sujet mentionné dans le présent bulletin ou dans des numéros antérieurs, veuillez consulter le site Web de *S et E* à l'adresse [www.ec.gc.ca/science]. Bon nombre des publications ministérielles mentionnées dans le *Bulletin* figurent sur la Voie verte d'Environnement Canada à [www.ec.gc.ca]ou peuvent être commandées auprès de l'Infomathèque au 1-800-668-6767.

Il est possible d'obtenir les coordonnées de scientifiques en communiquant avec Paul Hempel, éditeur du *Bulletin*, par courrier électronique à Paul.Hempel@ec.gc.ca ou par téléphone au (819) 994-7796. Les commentaires ou suggestions sont accueillis favorablement.

N'hésitez pas à reproduire de l'information provenant de la présente publication en indiquant sa source : le *Bulletin S et E* d'Environnement Canada.

ISSN 1480-3801 · Sa Majesté la Reine du chef du Canada (Environnement Canada) 2002